

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2 0 0 1 年 4 月 9 日

出 願 番 号

Application Number:

特願 2 0 0 1 - 1 0 9 9 9 8

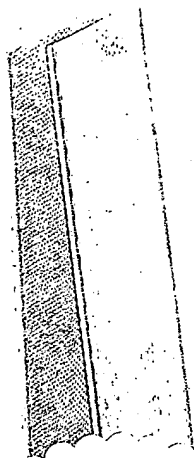
[ST.10/C]:

[J P 2 0 0 1 - 1 0 9 9 9 8]

出 願 人

Applicant(s):

キヤノン株式会社

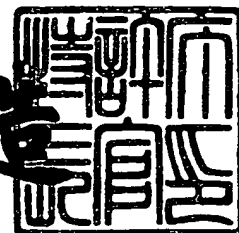


CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2 0 0 2 年 3 月 2 9 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



【書類名】 特許願

【整理番号】 4451014

【提出日】 平成13年 4月 9日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G02B 26/10

【発明の名称】 面形状計測法

【請求項の数】 11

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社
 社内

 【氏名】 関根 義之

【特許出願人】

 【識別番号】 000001007

 【氏名又は名称】 キヤノン株式会社

 【代表者】 御手洗 富士夫

【代理人】

 【識別番号】 100086818

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 高梨 幸雄

【手数料の表示】

 【予納台帳番号】 009623

 【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

 【物件名】 明細書 1

 【物件名】 図面 1

 【物件名】 要約書 1

 【包括委任状番号】 9703877

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 面形状計測法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

干渉を利用して光学素子の面形状を測定する面形状計測法であって、該光学素子の測定面を少なくとも二つの領域に分割し、各領域において干渉計測を行い、面形状を測定する際に、少なくとも一つの領域の計測を行うときの測定基準となる波面が非球面波面であることを特徴とする面形状計測法。

【請求項 2】

前記非球面波面は非球面波面生成手段により波面の動径の 4 次以上の各成分が略独立に制御され形成されていることを特徴とする請求項 1 記載の面形状計測法。

【請求項 3】

前記非球面波面の内、前記波面の動径の 4 次以上の各成分の略独立に制御し、測定を行う領域毎に球面成分の曲率が制御されることを特徴とする請求項 2 記載の面形状計測法。

【請求項 4】

前記非球面波面生成手段は、少なくとも一組のアルバレッツレンズを有していることを特徴とする請求項 2 記載の面形状計測法。

【請求項 5】

前記非球面波面生成手段のアルバレッツレンズは独立に制御される成分と一対一に対応して設けられていることを特徴とする請求項 4 記載の面形状計測法。

【請求項 6】

前記非球面波面生成手段による前記非球面波面の制御される成分は波面の動径の 4 次、6 次、8 次の三成分であって、それぞれ対応する一組のアルバレッツレンズによって略独立に制御されることを特徴とする請求項 5 記載の面形状計測法。

【請求項 7】

前記アルバレッツレンズによって制御される非球面量が測定に利用される光の波長の 20 倍を超えないことを特徴とする請求項 6 記載の面形状計測法。

【請求項 8】

干渉を利用して光学素子の面形状を測定する面形状計測法であって、該光学素子の測定面を少なくとも二つの領域に分割し、各領域において干渉計測を行い、面形状を測定する際に、該測定面は光軸からの距離に応じて複数の領域に分割され、少なくとも一つの領域の計測を行うときの測定基準となる波面が非球面波面であり、該非球面波面は波面の動径の 4 次以上の成分が略独立に制御されていることを特徴とする面形状計測法。

【請求項 9】

前記測定基準となる波面が非球面波面であり、該非球面波面のうちの球面成分は分割された各領域毎に異なり、該非球面波面と各領域における被検面とのずれ量が測定に利用される光の波長の 10 倍を越えないことを特徴とする請求項 8 記載の面形状計測法。

【請求項 10】

波面の動径の 4 次以上の各成分がアルバレッツレンズによって略独立に制御されており、該各成分の非球面量が測定に利用される光の波長の 20 倍を超えないことを特徴とする請求項 8 記載の面形状計測法。

【請求項 11】

請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項の面形状計測法を用いて作成された光学素子を用いることによって作成されたことを特徴とする半導体露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は面形状計測法に関し、被検物として球面から非球面にわたる広範囲な面形状に対応し高精度で被検物の面形状を測定する際に好適なものである。

【0002】

この他本発明は、マスク上のパターンを感光性の基板に転写し、半導体素子を製造する等のリソグラフィ工程で使用される投影光学系を構成する各光学素子（レンズ、フィルター等）の球面や非球面等の面形状を高精度に測定する際に好適なものである。

【 0 0 0 3 】

【従来の技術】

光学系におけるイノベーションは常に新しい光学素子、あるいは自由度の導入によってもたらされている。この中で非球面の導入による光学性能の改善は天体望遠鏡の昔から追及されてきた項目の一つであるが、近年、加工法や計測法の改善により、最も精度が要求される半導体素子製造用の半導体露光装置に導入されるところにいたった。

【 0 0 0 4 】

半導体露光装置における非球面の効果は大きく分けて3つある。第一の効果は光学素子の枚数の削減である。短波長化に伴い半導体露光装置の光学系には石英や蛍石といった高価な材料を使用せざるを得なくなってきた。非球面の効果による光学素子の枚数の削減は製作面及びコスト面で非常に効果大きい。第二の効果はコンパクト化である。非球面の効果として光学系を小型化することが可能となって、やはり製作及びコストに対する影響が無視できないほど大きい。第3の効果は高性能化である。高NA化や、低収差化でますます要求精度の高くなっている光学系の性能を達成する手段として非球面の果たす役割は非常に重要となっている。

【 0 0 0 5 】

また、最近ではパターンの微細化の加速に伴って次世代を担う露光方式としてEUVを用いる方式が本命視されている。EUV (Extreme Ultra Violet) では従来の光露光で用いられてきた光の波長の $1/10$ 以下の 13.4 nm という短い波長の光を用いて、反射結像光学系によりレチクル上の像をウェハーに転写する。EUVの領域では波長が短すぎる為、光が透過する光学部材（透過材料）が存在せず、光学系はレンズを用いないミラーのみの構成となる。しかしながら、EUVの領域では反射材料も限られており、1面あたりのミラーの反射率は70%弱しかない。従って、従来のレンズを用いた光学系の様に20枚を越えるような光学系の構成は光利用効率の面から不可能で、なるべく少ない枚数で所定の性能を満足する結像光学系を構成しなければならない。

【 0 0 0 6 】

現在、EUVの実験機で用いられているのは3枚または4枚構成のミラー系でNAが0.1前後のものであるが、将来的には6枚のミラー系構成でNA0.25から0.30前後のシステムがターゲットとなっている。このような高性能の光学系を少ない枚数で実現する手段として、実際に高精度な非球面を加工し、計測し、所定の面形状の光学素子を得ることが従来技術の壁を打ち破るために必須の技術となってきている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、高性能が得られる設計値が得られても従来の非球面の加工では非球面の計測精度に限界があり、所定の値以上の非球面量を持った面は加工できないという問題点があった。該所定の値は所望の精度で計測できる範囲によって定められる。よく知られているように、計測と加工は一体のものであり、良い計測精度がなければ精密な加工を行うことは不可能である。

【0008】

球面形状の計測の技術は光学素子の計測で最も通常に用いられる技術であるため汎用の装置も製品として存在しており、絶えざる精度向上の努力により精度も大幅に向上している。しかしながら測定波長の10倍以上の大きな非球面量になると干渉縞の間隔が細くなりすぎて球面計測と同じ計測精度を出すことが困難となる。通常、大きな非球面の測定方法として機械的あるいは光学的なプローブを用いて非球面の表面を計測する方法が知られている。しかしながらプローブ法は種々の形状の非球面に対応できるフレキシビリティは備えているものの、プローブ自体の計測限界や、プローブの位置計測の安定性などに問題があり、干渉計測法ほどの精度を出すことが困難である。

【0009】

さらに、非球面形状を測定するとき通常の球面形状測定用の干渉計を用いて、球面上と非球面上の曲率半径が一致する領域(通常は輪帯形状となる)のみを測定し、次いで測定する曲率半径を変化させることで面全体を計る手法も知られている。しかしながらこの方法は次の問題点を含んでいる。

【0010】

対象となる光学系は共軸であることが多いところから、光学素子は回転対称性を持っていることが多い。非球面形状は光軸からの距離（半径、動径）を r 、動径 r における光軸方向の近軸球面の曲率半径を c 、光軸方向を z とした時、[式 1] のように偶数次の項のみで記述されるのが一般的である。

【0011】

【式 1】

$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K)c^2r^2}} + Ar^4 + Br^6 + Cr^8 + Dr^{10}$$

【0012】

【式 1】において $K=A=B=C=D=0$ の場合、曲率半径 $R=1/c$ を持つ球面となる。従って球面からのずれ量（非球面量） δ は【式 1】からその球面を差し引いたものとなり、展開すると【式 2】のように距離 r の 4 乗以上の項のみで表される。

【0013】

【式 2】

$$\delta = \left\{ \frac{1}{8} c^3 K + A \right\} r^4 + \left\{ \frac{1}{16} c^5 K(2 + K) + B \right\} r^6 + \left\{ \frac{5}{128} c^7 K(3 + 3K + K^2) + C \right\} r^8 + \left\{ \frac{7}{256} c^9 K(4 + 6K + 4K^2 + K^3) + D \right\} r^{10}$$

【0014】

非球面量を考えた場合、特に重要なのは距離 r の 4 乗の項である。このずれ量 δ が測定に用いられる光の波長の 10 倍を越えると干渉縞の間隔が狭くなり過ぎて、測定が困難となる。

【0015】

この問題を補うために、基準となる球面の曲率半径を $R'=1/c'$ に変えて始めに測定した領域の外側を計測する。この方法によれば、非球面量 δ' は【式 3】のようになる。

【0016】

【式 3】

$$\delta' = \frac{1}{2}(c - c')r^2 + \left\{ \frac{1}{8}c^3(1+K) + A - \frac{1}{8}c'^3 \right\}r^4 + \left\{ \frac{1}{16}c^5(1+K)^2 + B - \frac{1}{16}c'^5 \right\}r^6 \\ + \left\{ \frac{5}{128}c^7(1+K)^3 + C - \frac{5}{128}c'^7 \right\}r^8 + \left\{ \frac{7}{256}c^9(1+K)^4 + D - \frac{7}{256}c'^9 \right\}r^{10}$$

【0 0 1 7】

係数 c' を適当に選ぶことにより該領域において、 $\delta' < \delta$ とすることが可能である。非球面量 δ' が測定波長を λ とするとき 10λ を越える程度になったところで、さらに係数 c' を変化させて外側の領域を測定することを繰り返せば面全体を測定することは不可能でない。しかしながら面周辺部での変化の速さを考えた場合は距離 r の 6 乗や 8 乗等、高次の項が重要になってくるため、これら高次項の影響により、干渉測定が可能な領域が著しく狭くなる。

【0 0 1 8】

このため、面全体を測定するためには多くの領域に分割する必要が生じ、特に面周辺部では分割数が多くなり、測定可能な領域の幅が狭くなる。個々に領域を測定した後、それらを接続することが必要になることため、誤差の重ねあわせにより十分な精度の測定ができないという問題があった。

【0 0 1 9】

本発明は非球面の形状を球面と同じ精度で測定が可能で、かつ種々の面形状の測定に対応できる面形状測定法及びそれを用いられた光学素子を用いた半導体露光方法の提供を目的とする干渉計測法。

【0 0 2 0】

【課題を解決するための手段】

請求項 1 の発明の面形状計測法は、

干渉を利用して光学素子の面形状を測定する面形状計測法であって、該光学素子の測定面を少なくとも二つの領域に分割し、各領域において干渉計測を行い、面形状を測定する際に、少なくとも一つの領域の計測を行うときの測定基準となる波面が非球面波面であることを特徴としている。

【0 0 2 1】

請求項 2 の発明は請求項 1 の発明において、

前記非球面波面は非球面波面生成手段により波面の動径の 4 次以上の各成分が略独立に制御され形成されていることを特徴としている。

【 0 0 2 2 】

請求項 3 の発明は請求項 2 の発明において、

前記非球面波面の内、前記波面の動径の 4 次以上の各成分の略独立に制御し、測定を行う領域毎に球面成分の曲率が制御されることを特徴としている。

【 0 0 2 3 】

請求項 4 の発明は請求項 2 の発明において、

前記非球面波面生成手段は、少なくとも一組のアルバレッツレンズを有していることを特徴としている。

【 0 0 2 4 】

請求項 5 の発明は請求項 4 の発明において、

前記非球面波面生成手段のアルバレッツレンズは独立に制御される成分と一対一に対応して設けられていることを特徴としている。

【 0 0 2 5 】

請求項 6 の発明は請求項 5 の発明において、

前記非球面波面生成手段による前記非球面波面の制御される成分は波面の動径の 4 次、6 次、8 次の三成分であって、それぞれ対応する一組のアルバレッツレンズによって略独立に制御されることを特徴としている。

【 0 0 2 6 】

請求項 7 の発明は請求項 6 の発明において、

前記アルバレッツレンズによって制御される非球面量が測定に利用される光の波長の 2 0 倍を超えないことを特徴としている。

【 0 0 2 7 】

請求項 8 の発明の面形状計測法は、

干渉を利用して光学素子の面形状を測定する面形状計測法であって、該光学素子の測定面を少なくとも二つの領域に分割し、各領域において干渉計測を行い、面形状を測定する際に、該測定面は光軸からの距離に応じて複数の領域に分割さ

れ、少なくとも一つの領域の計測を行うときの測定基準となる波面が非球面波面であり、該非球面波面は波面の動径の4次以上の成分が略独立に制御されていることを特徴としている。

【0028】

請求項9の発明は請求項8の発明において、

前記測定基準となる波面が非球面波面であり、該非球面波面のうちの球面成分は分割された各領域毎に異なり、該非球面波面と各領域における被検面とのずれ量が測定に利用される光の波長の10倍を越えないことを特徴としている。

【0029】

請求項10の発明は請求項8の発明において、

波面の動径の4次以上の各成分がアルバレッツレンズによって略独立に制御されており、該各成分の非球面量が測定に利用される光の波長の20倍を越えないことを特徴としている。

【0030】

請求項11の半導体露光装置は、

請求項1乃至10のいずれか1項の面形状計測法を用いて作成された光学素子を用いることによって作成されたことを特徴としている。

【0031】

【発明の実施の形態】

通常の球面を測定する干渉計は精度及び測定再現性などに長足の進歩を見せている。最近では測定再現性で0.1nmに近づこうという精度を見せるまでになっており、EUV時代の計測装置としても使用出来る位のレベルに達している。

【0032】

これに対し非球面の面形状の計測は非球面自体の要望があったにも拘らず、誤差要因が多いと言うことで精度も要求を満たしていなかった。本発明の実施形態は、この球面と非球面との乖離をなくすことを特徴としている。このため、本発明の実施形態では精度上の達成値を球面波にすることを目標として、球面計測用の光学配置を基礎に非球面を計測する構成を用いている。

【0033】

尚、本発明において非球面とは軸対称であって球面又は平面でないこと、あるいは面対称であって、平面でも円筒面でない非円筒面であることを意味している。

【 0 0 3 4 】

最近の半導体製造装置における高精度な駆動の実現、及び計算機の発達は基準位置の収差さえはっきりしておれば、該基準位置からオープンループで各エレメントを駆動した後に発生する収差を正確に知ることを可能とする。

【 0 0 3 5 】

本発明はこれらの点を考慮し、非球面が球面からのずれと言う形で定義される以上、該非球面を収差とみなし、該収差量を収差発生光学系（基準波面発生ユニット）で発生させて所望の非球面形状を持つ波面を発生させる構成を用いている。即ち本発明の実施形態では非球面の波面を正確に合成して作成していくことを特徴としている。

【 0 0 3 6 】

又、本発明では被検面の非球面量が大きく、面周辺部での変化が速い場合、非球面全体に対しての基準波面を発生させることは困難となる場合であっても被検面を複数の領域に分割し、個々の領域に対して、球面乃至非球面の基準波面を光学系の収差をコントロールすることによって基準波面を容易に発生させている。

【 0 0 3 7 】

基準波面の発生に際しては、特に面周辺部で一括測定可能な輪帯の幅を十分に大きく取ることができるような構成するため、該非球面を特徴づける非球面形状の各次数を独立に制御して作り上げている。このことにより、面形状の必要な測定回数を低減、あるいは複数の輪帯を重ね合わせて測定することにより、精度の向上を図っている。

【 0 0 3 8 】

又、領域分割に際しては、発生させる非球面の基準波面と測定対象の面形状とのずれ量が測定に利用される光の波長の 1 0 倍を超えないようにしている。

【 0 0 3 9 】

さらに、光軸からの距離（動径） r の次数毎独立に収差を制御する方法として

、アルバレッツレンズを利用している。

【 0 0 4 0 】

そして該アルバレッツレンズで制御する非球面量を最大で測定波長の 2 0 倍、通常 1 0 倍に抑えるようにしている。

【 0 0 4 1 】

次に、本発明の実施形態を図面を用いて説明する。

【 0 0 4 2 】

図 1 は本発明の実施形態 1 の要部概略図であり、被検面の非球面形状の測定方法を示している。被検面の面形状を測定するための干渉計は公知のトワイマン・グリーン干渉計といわれる構成をとっている。

【 0 0 4 3 】

図 1 は不図示のレーザ光源から出射し、さらに不図示の光学系により平行にされた光（コリメートされた）L a が干渉計に入るところから図示している。レーザ光源としては、He - Ne、Ar、He - Cd、YAG の高調波など公知のレーザを用いることができる。

【 0 0 4 4 】

図 1 において、コリメートされた光 L a はまずビームスプリッタ 1 で波面が反射光（参照光）と透過光（信号光）の二つに分割される。同図は参照光として参照ミラー 2 へ行く光路（参照光路）と、物体（被検面）4 側へ行く光路（被検光路）とに分割されている。

【 0 0 4 5 】

参照光路に行った光は参照ミラー 2 で反射して再びビームスプリッタ 1 へ戻っていく。高精度な計測精度を得るためには位相計測をすることが必須となるので、PMI (Phase Measuring Interferometer) といわれる手法が適用される。例えば、図 1 の構成では参照ミラー 2 が波長オーダで光軸方向（矢印）に微小駆動される例が示されている。参照ミラー部 2 の構成は従来の干渉計と同一である。

【 0 0 4 6 】

被検面 4 からの物体光と参照光とをビームスプリッタ 1 で合波し、レンズ 6 を介して撮像手段（観察面）7 上に干渉情報を形成し、これより被検面 5 の面形状

を測定している。

【 0 0 4 7 】

被検面 4 (物体)側に行く光路の構成が本発明の中核をなす部分である。ビームスプリッタ 1 を通過した光束は次いで被検面 4 の測定基準となる波面を生成する基準波面発生ユニット 3 に入射する。基準波面発生ユニット 3 はアルバレッツレンズ 3 1 a、3 1 b、3 1 c と集光レンズ 3 2 を有している。

【 0 0 4 8 】

まず、アルバレッツレンズ 3 1 の構成は後述するとして、集光レンズ 3 2 について説明する。

【 0 0 4 9 】

集光レンズ 3 2 は図 1 の構成ではビームスプリッタ 1 からアルバレッツレンズ 3 1 a、3 1 b、3 1 c を介して入射してくるほぼ平行な光を点 A に結像する作用をする。このとき、集光レンズ 3 2 は軸上 0 a 近傍のごく小さい範囲のみ収差補正をしておけば良いので、収差量を極めて小さく抑えることができる。仮に集光レンズ 5 に収差が微量残っていたとしても微量である為、オフセット処理でキャンセルすることが容易である。以降の説明では集光レンズ 3 2 の収差は無視することができるとして話を進める。

【 0 0 5 0 】

次に、基準波面発生ユニット 3 を通過した光はズームレンズ 5 に入射する。ズームレンズ 5 は、変倍により、被検面 4 の測定領域に当たる光束の幅 (領域) を変化させるために利用される。ズームレンズ 5 は所定の複数のズームステートにおいて有限物点で収差がよく補正されているものであり、集光レンズ 3 2 により点 A に収束した光をさらに点 B に結像させる。ズームレンズ 5 は集光レンズ 3 2 と同様、収差を無視することができる程度に収差補正されているが、場合によっては故意に収差を与えて非球面波面の形成に利用することも可能である。

【 0 0 5 1 】

こうして、アルバレッツレンズ 3 1 a、3 1 b、3 1 c に入射した平行光 L a はアルバレッツレンズを駆動させない限りそれらは平行平板と同じ作用する為、集光レンズ 3 2 とズームレンズ 5 を介して点 B にほぼ無収差の収束波となって結像す

る。本実施形態ではこの状態を基準状態と定義する。基準状態は被検面4に球面が配置されたときにその形状を測定するのに好ましい状態である。なお、基準状態における点Aと点Bの位置はズームレンズ5の各ズームステートにおいて異なっていてよいが、その際の集光レンズ32とズームレンズ5の配置、並びに発生する波面は予め把握しておく必要がある。

【0052】

本実施形態では非球面の測定基準波面を発生させるためにアルバレッツレンズ31を用いることを特徴としている。アルバレッツレンズ31は、図2に示すように同一形状の二枚のレンズ31-1と31-2を組み合わせて用いるものである。レンズ31-1とレンズ31-2のそれぞれ一方の面は $f(x, y)$ で示される非球面形状をなしており、該非球面側が対向、近接して配置されている。二枚のレンズ31-1とレンズ31-2の xy 面内における相対位置ずれが0である場合、アルバレッツレンズ31は平行平板とほぼ同じ働きをする。一方、二枚のレンズ31-1とレンズ31-2の一方を光軸0aと垂直の y 方向に Δ 、他方を $-\Delta$ シフトさせると、アルバレッツレンズ31の透過波面 $W(x, y)$ は、レンズ31-1と31-2の硝材の屈折率を n として、

【0053】

【式4】

$$W(x, y) = 2\Delta(n-1) \frac{\partial f(x, y)}{\partial y}$$

【0054】

と近似的に書ける。このことにより面形状 $f(x, y)$ の形を適当に選択すれば、各次数の収差を自由に発生させることができる。光軸からの距離 r は x, y を用いて、 $r^2 = x^2 + y^2$ と書けることを踏まえると、距離 r の4乗、6乗、8乗の収差を発生させるために必要な面形状はそれぞれ、

【0055】

【数 1】

$$f(x, y) = c_4(x^4y + \frac{2}{3}x^2y^3 + \frac{1}{5}y^5)$$

$$f(x, y) = c_6(x^6y + x^4y^3 + \frac{3}{5}x^2y^5 + \frac{1}{7}y^7)$$

$$f(x, y) = c_8(x^8y + \frac{4}{3}x^6y^3 + \frac{6}{5}x^4y^5 + \frac{4}{7}x^2y^7 + \frac{1}{9}y^9)$$

【0056】

となる。例えば、これらの面形状 $f(x, y)$ をそれぞれ図 1 中のアルバレッツレンズ 31a, 31b, 31c に与えた場合、光軸からの距離 r の 4 次、6 次、8 次の成分を独立に制御できる。

【0057】

以上の説明は軸対称の場合であり、面对称の系に関しては、例えば対称面が x 軸と光軸を含む面であるとする、 $r^2 = y^2$ と書いてよい。これは軸対称の場合に $x = 0$ としたことに相当し、アルバレッツレンズに与える面形状も軸対称の場合の式に $x = 0$ を代入したものを用いればよい。

【0058】

ここで説明したのは、光軸からの距離 r の 4 次、6 次、8 次のみであるが、2 次や 10 次以上の項も別の面形状を持ったアルバレッツレンズを挿入することによって制御することができる。制御すべき次数は測定対象の非球面によって異なる。

【0059】

アルバレッツレンズ 31 を特徴付ける非球面形状 $f(x, y)$ を理想的に作ることは難しいため、製作誤差をキャリブレーションする必要がある。キャリブレーションの際には球面収差の場合と同じく基準状態と素性の分かっている基準面を用いて、測定を行いオフセット量を計算する。オフセット量は面形状 $f(x, y)$ の誤差、ずれ量 Δ から発生する非線形効果等も含めて補正する。また、アルバレッツレンズの位置は位置検出素子を各アルバレッツレンズに装着して検出を行う。

【0060】

アルバレッツレンズにより制御される波面 $W(x, y)$ の値、すなわち非球面量は、主に $f(x, y)$ の係数(c_4, c_6, c_8 等)とシフト量 Δ の積に依存する。面形状 $f(x, y)$ の係数が大きすぎると屈折の影響が大きくなること、シフト量が大きくなると差分を微分で近似した際の精度が悪くなること、により光軸からの距離 r に対して各次数の成分を独立に制御することが難しくなる。このため、制御可能な波面 $W(x, y)$ の値に制限が生じる。本発明者がアルバレッツレンズについて分析したところ、透過波面 $W(x, y)$ に関しては測定光の波長の10乃至20倍程度を制御の目標とした場合、光軸からの距離 r に対して各次数の成分が略独立であるようにすることが可能である。

【0061】

一方目標値をさらに大きくすると独立と見なすことができなくなることに加えて、同一光路上に複数個のアルバレッツレンズを挿入した場合に各次数の加算にならなくなり、制御が困難になることが明らかとなった。このため、各アルバレッツレンズで発生させる非球面量の目標値は測定光の波長の20倍以下、通常は10倍程度にするのが好ましい。これらアルバレッツレンズによる制御が独立でなくなる場合は、ズームレンズ5の収差を発生させて補正する方法も考えられる。ただし、この方法は系が複雑になることに加えて汎用性が低下してくる。

【0062】

次に、[式1]において $c=1/R=-0.002$ 、 $K=0.8$ 、 $A=1.1e-8$ 、 $B=-2.5e-13$ 、 $C=1.2e-18$ 、 $D=4.0e-22$ であり、最大半径が $r=55$ なる非球面の形状を測定する状況を考える。測定に利用する光の波長を 656.3 nm とすると、最大径 $r=55$ 位置において[式1]の非球面と同じ曲率を持つ球面とのサグ量の差 δ としての非球面量は $86.5\text{ }\mu\text{m}$ 、すなわち $\delta=131.8\lambda$ となる。仮に 10λ を通常の方法で測定可能な非球面量とすると、単純計算で14の領域分割が必要となり、フレネルレンズの輪帯間隔などと同様、外周に向かうほど間隔が狭くなる。

【0063】

光軸近傍の面形状を考えると、 $\delta=10\lambda$ となるのは $r_0=28.466$ においてである。従って、 $r < r_0$ の領域では通常の方法で測定可能であるとする。ここで、図1中のアルバレッツレンズ31aをシフトさせて、距離 r の4次の項の

みを目標値 10λ で制御した場合を考える。光軸近傍では距離 r の 4 次の影響のみと考えてよく、アルバレッツレンズ 3 1 a の駆動により $\delta = 20\lambda$ までが測定可能になると考えると、その位置は $r_1 = 33.925$ となる。実際にこれを図 1 の系で行うためには、アルバレッツレンズ 3 1 a をシフトして非球面波面を発生させると同時に制御目標値である 10λ の非球面量となる入射光線の光軸 0 a からの距離 r_{ray} を求め、ズームレンズ 5 をズームさせることで高さ r_{ray} の光線を被検面 4 において距離 r_1 の位置に達するように制御する必要がある。このときの測定基準となる非球面波面は位置検出装置のデータと基準状態の波面から確定可能であり、測定された干渉縞を元に面形状を求めることができる。

【 0 0 6 4 】

以上のようにして、アルバレッツレンズ 3 1 a の制御を行わない場合に比べて中心部の測定を広い範囲で行うことができる。この中心部は図 3 - (a) ないし (b) の測定領域 4 - 3 に相当する。なお、測定領域 4 - 3 の測定に際して、アルバレッツレンズ 3 1 b と 3 1 c をシフトさせてもよく、この自由度を用いると、測定基準となる非球面波面と測定面とのずれ量を 10λ より小さく抑えることができる。

【 0 0 6 5 】

次に、図 3 に示す被検面 4 の測定領域 4 - 4 の測定方法を述べる。

【 0 0 6 6 】

図 4 は被検面 4 の数値例である。

【 0 0 6 7 】

被検面 4 が本数値例の場合、図 4 から分かるように面周辺部での曲率は中心部に比べて緩い。このため、測定基準とする非球面波面のうち球面成分の曲率を緩めてやるとよく、例えば $c' = 1/(R-8.70) = -0.00197$ 程度にすればよい。これを行うには被検面 4 の光軸 0 a 方向の位置ずらしを行う。この位置ずらし量をモニタするモニタ手段として、レーザ干渉計 1 0 1 を用いている。具体的には、被検面 4 を移動させる機械部品 4 - 1 の位置をモニタするためにレーザ干渉計 1 0 1 からの光 4 - 2 が入射している。レーザ干渉計の代わりにマグネスケールやエンコーダ等の位置検出素子を使うことも可能で、該モニタ機能を用いて計算を行うこと

により、測定領域 4-4 に当たる波面の球面成分を精確に知ることができる。

【0068】

面形状の曲率を補正した後、距離 r_1 における球面からずれ量を 0 とした場合、 10λ のずれとなる位置は $r_2 = 41.975$ となるが、アルバレッツレンズ 31a と 31b をシフトさせ、それぞれ距離 r の 4 次と 6 次の項を 10λ 制御することにより、 $r_3 = 47.5$ までが 10λ のずれの範囲に入る。このとき、アルバレッツレンズ 31c はシフトさせる必要は無いが、シフトすることでずれの範囲を狭めることができる。

【0069】

この後、ズームレンズ 5 をズームさせ、入射光束 L_a を被検面 4 上の光軸 O_a からの距離 47.5 の位置まで広げるよう調節する。

【0070】

この際に生成される非球面波面はアルバレッツレンズ 31a と 31b に装着された位置検出素子のデータ、ズームレンズ 5 の配置のデータ、被検面 4 の位置のデータを用いて演算手段 102 で計算することで精確に決定することができ、干渉縞の測定から領域 4-4 の面形状を測定できる。

【0071】

さらに、図 3 に示す被検面 4 の測定領域 4-5 の測定方法を述べる。

【0072】

基本的な手順は測定領域 4-4 の測定方法の場合と同じであり、まず測定基準とする非球面波面のうち球面成分の曲率を被検面 4 の光軸方向の位置をずらすことで変化させる。例えば、 $c' = 1/(R-12.6) = -0.00195$ 程度にすればよい。この際、レーザ干渉計 101 を利用して、位置ずれ量をモニタしている。

【0073】

次に $r_3 = 47.5$ の位置での球面からのずれ量を 0 とし、アルバレッツレンズ 31a、31b、31c をシフトさせ、それぞれが目標値 10λ の制御を行う。入射光束 L_a が被検面 4 上で光軸からの距離 $r = 55$ になるように広げると、生成される非球面波面と被検面 4 とのずれ量がほぼ 10λ の範囲に入ることになり、干渉計測により被検面 4 の非球面波面からのずれ量 δ が測定され、さらに非

球面波面の形状がアルバレッツレンズ31a、31b、31cズームレンズ5、被検面4の配置データから計算されるので、被検面4の形状を得ることができる。

【0074】

以上説明したように、本実施形態によれば非球面形状の測定に際して被検面の測定領域の分割数を減らし、接続回数を減らすことでより高精度な計測を可能としている。また、測定領域の幅自体が広がっていることを利用して、領域分割を行う際に重複するようにすることで、接続自体もより精度よく行うことが可能となる。本実施形態ではアルバレッツレンズにより制御される成分を光軸からの距離 r の4次、6次、8次に限定しているが、測定対象により2次や10次以上の高次成分用のアルバレッツレンズを採用してもよく、これらを利用することで、領域内での被検面と基準波面とのずれ量を低減し、より精度よく干渉計測が行えるようになる。

【0075】

本実施形態では以上の構成により参照ミラー2を介した参照波面と、基準波面発生ユニット3、コリメーター4を通過し、被検面5で反射し、元の光路を戻った被検波面（信号波面）と、をビームスプリッター1で合成し、レンズ6によってCCD等の撮像手段7上に干渉波面を形成し、該撮像手段7からの信号（干渉信号）によって被検面5の面形状（面情報）を測定している。

【0076】

以上のように本実施形態では、波面を調整して合成するため、種々の基準波面を作成することができる。従って、装置自体を基準として様々な非球面を測定することができるために、極めて汎用性を持つ装置を構成することができる。また、汎用性があるにも拘らず干渉計測法であるために球面を測定するのとはほぼ同じ精度が達成できるため、従来の高精度で測定することが困難であった非球面を容易に測定することができる。

【0077】

尚、本実施形態においてアルバレッツレンズ31の代わりに波面の動径の高次以上の各成分を発生させることができるように製作したCGH(Computer Generated Hologram)を用いても良い。又、ズームレンズ5の代わりに複数の単焦点レン

ズを設け、そのうち1つを光軸から挿脱可能に構成しても良い。

【0078】

以上の実施形態の干渉計を用いて作成された光学素子を第1の物体（レチクル）上に形成されたパターンを第2の物体（ウェハ）上に結像させて露光する投影露光装置における投影光学系に用いている。

【0079】

これによって高い光学性能の投影光学系の製造を容易にしている。

【0080】

【発明の効果】

本発明によれば非球面の形状を球面と同じ精度で測定が可能で、かつ種々の面形状の測定に対応できる面形状測定法及びそれを用いられた光学素子を用いた半導体露光方法を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施形態1の非球面測定方法を説明するための説明図

【図2】 本発明に係るアルバレッツレンズの原理を示す説明図

【図3】 被検面の分割方法を示す説明図

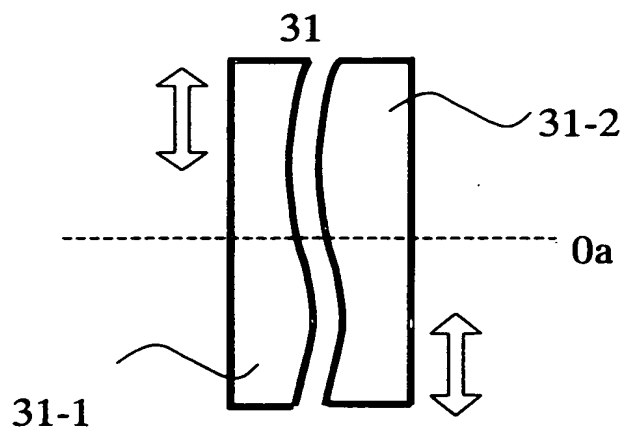
【図4】 被検面の数値例の説明図

【符号の説明】

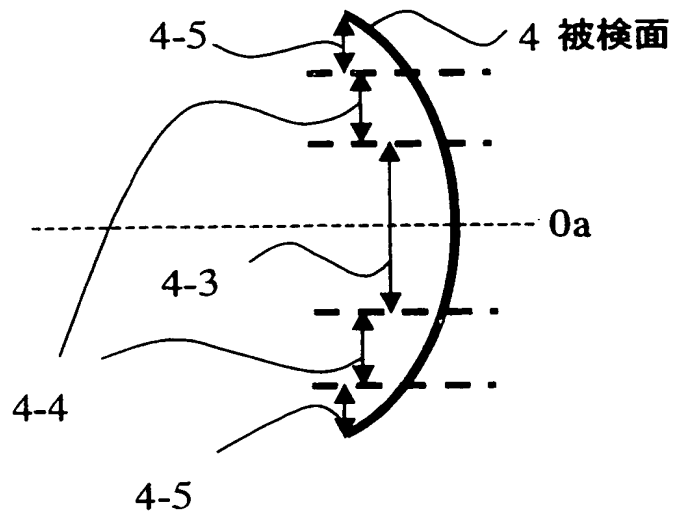
- 1 ビームスプリッタ
- 2 参照ミラー
- 3 基準波面発生ユニット
- 4 被検面
- 5 ズームレンズ
- 6 結像レンズ
- 7 CCD
- 10 被検面の面形状(数値例)
- 11 被検面を球面と仮定した場合の面形状(数値例)
- 31 (31a, 31b, 31c)アルバレッツレンズ
- 32 レンズ

1 0 1 レーザ干渉計

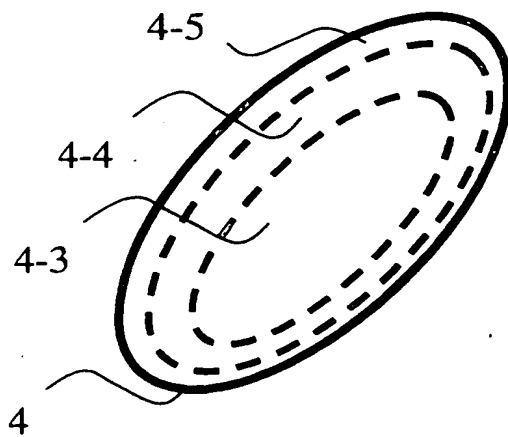
【図 2】



【図 3】

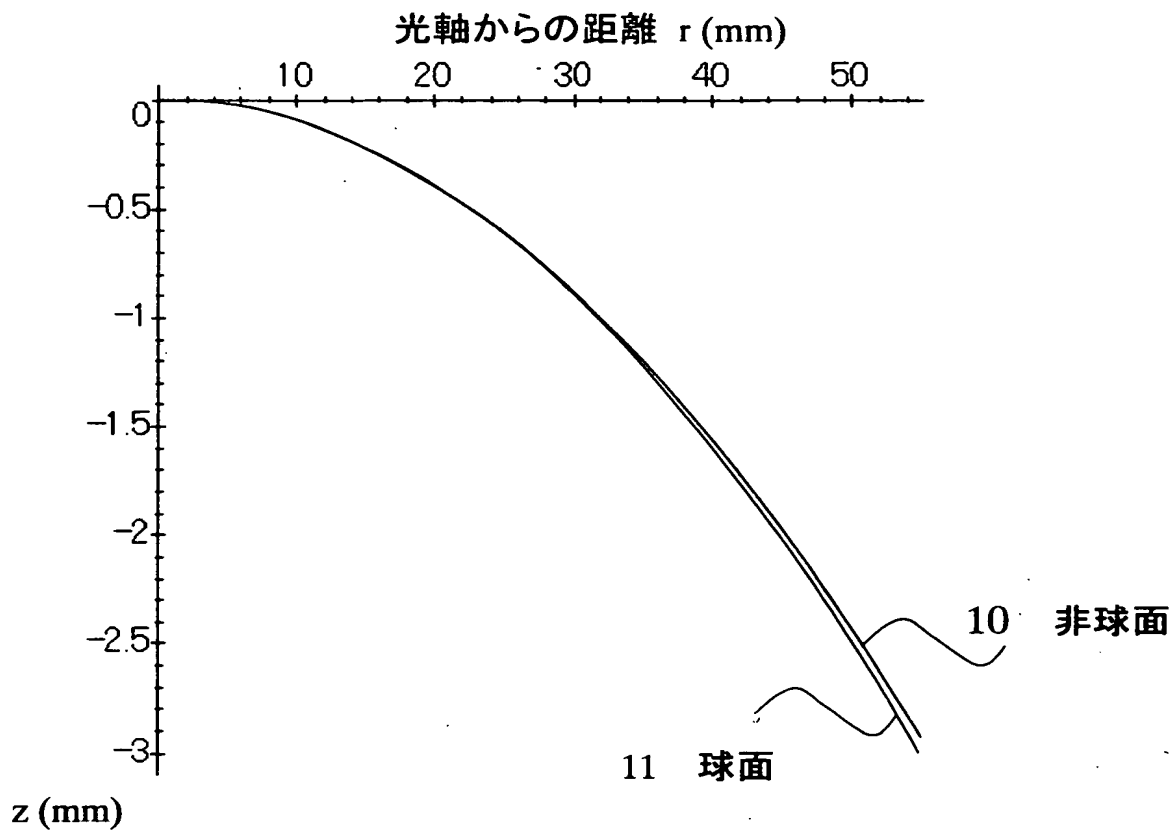


(a)



(b)

【図 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 非球面の形状を球面と同じ精度で測定が可能で、かつ種々の面形状の測定に対応できる面形状測定法及びそれを用いられた光学素子を用いた半導体露光方法を得ること。

【解決手段】 干渉を利用して光学素子の面形状を測定する面形状計測法であって、該光学素子の測定面を少なくとも二つの領域に分割し、各領域において干渉計測を行い、面形状を測定する際に、少なくとも一つの領域の計測を行うときの測定基準となる波面が非球面波面であること。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000001007]

1. 変更年月日 1990年 8月30日
[変更理由] 新規登録
住 所 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
氏 名 キヤノン株式会社